

M

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
Incorporada a la U.N.A.M.
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

S

DETERMINACION DE URANIO EN AMBIENTE Y EN ORINA
DE TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE
EXPUESTOS.

TESIS PARA OPTAR
EL TITULO DE
QUIMICO

GONZALO RODRIGUEZ CHICOTE.
Mexico, 1969.

12668



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi Madre, con adoración y agradecimiento.

A mi Padre, con cariño y respeto.

12608

A la memoria de mi hermano Reinaldo (q. e. p. d.)

A los siempre presentes en mi vida, con lo mejor de ella .

A mis hermanos y cuñados.

A mis tíos y sobrinos.

A quienes hasta el último momento creyeron en mí.

Agradezco a la Comisión Nacional de Energía Nuclear, las facilidades prestadas en el laboratorio de Protección Radiológica para la elaboración de la presente tesis, a los Ingenieros Raúl Oropeza Ordoñez y Armando P. Báez adscritos a dicho departamento, por su valiosa orientación. Así como también mi gratitud para la Sra. Química Araceli Sánchez de Corral.

" DETERMINACION DE URANIO EN AMBIENTE Y EN ORINA DE TRABAJADORES OCUPACIONALMENTE - EXPUESTO".

- I.- INTRODUCCION.
- II.- HISTORIA .- GENERALIDADES.- TEORIA.
- III.- METODO USADO PARA OBTENER URANIO - MEDIBLE EN ORINA.
 - a.- MATERIAL Y REACTIVOS.
 - b.- DESCRIPCION DE LA TECNICA.
 - c.- CALCULOS.
- IV.- TECNICA DE MUESTREO DE URANIO EN MEDIO AMBIENTE.
 - a.- DESCRIPCION.
 - b.- EQUIPO DE MUESTREO.
 - c.- CALCULOS.
- V.- CONCLUSIONES.
- VI.- BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION.

Al instalar una fuente de trabajo, es obligación de quienes la patrocinan, velar por los obreros tanto en lo material como por su salud, debiendo ser ésta última de mayor interés.

En nuestro trabajo vamos a determinar la cantidad de uranio tanto en ambiente como en orina de los trabajadores de Tecnología Nuclear de Tacuba; para ello buscamos un método que reuniera las condiciones requeridas para nuestro propósito. El método elegido fué el de Oak Ridge, con dicho método y contando con ciertos patrones establecidos anteriormente en algunos países de mayor experiencia que nosotros, vamos a llevar a cabo la determinación del uranio tanto en el ambiente como en la orina de dichos trabajadores, lo cual constituye la base de la presente tesis, y así conocer el peligro en que dichos obreros se encuentran o pudieran encontrarse.

HISTORIA.

En 1789 Klaproth descubrió la Pechblenda (mineral de uranio); en Bohemia: en dicho mineral y en la calcolita halló un óxido (UO_2) de un nuevo metal (uranio), -- por reducción del que actualmente se le asigna la fórmula aproximada U_3O_8 . En 1840 aisló Peligot de aquel óxido UO_2 al metal (uranio) en forma de un polvo gris oscuro.

El uranio se encuentra ampliamente distribuido en la tierra (interviene en unos cien minerales) en cantidad promedio de cuatro microgramos por gramo de roca. Los yacimientos principales se encuentran en Congo Belga, Estados Unidos, Rusia etc. (1)

En México los principales yacimientos se han localizado al norte del país, de donde son extraídos los minerales carnotita y tuyamunita que son vanadatos de uranio con ciertas cantidades de potasio y calcio respectivamente; de dichos minerales se extrae el uranio en forma de óxido, -- con el cual se hacen pastillas, las que se emplean como -- combustible en algún tipo de reactores nucleares y como -

base para la metalurgia del uranio.

Como en la metalurgia del mineral de uranio, - los obreros estan expuestos a los polvos que de él se des- prenden; describiremos someramente el mecanismo fisio- lógico del riesgo a la exposición de los compuestos de -- uranio que pueden convertirse en sales solubles en el or- ganismo humano, los cuales se encuentran suspendidos - en la atmósfera como polvos, ya que ello es parte básica en el presente trabajo.

(1) Chemical Education Material: Chemistry, an Experi- mental Science. W.H. Freeman and Company, 1961. pag. 30.

MECANISMO FISIOLOGICO.

El riesgo de la exposición a los compuestos de - uranio solubles suspendidos en la atmósfera como polvos, debe ser valorado con diferentes bases. Cuando una par- tícula de un compuesto soluble de uranio llega a los pulmo- nes puede disolverse inmediatamente y la serie de fenó- menos que suceden pueden ser descritos de la forma --

siguiente:

1.- El compuesto de uranio, tiende a extraer -
agua del líquido que lo circunda .

2.- El líquido así extraído contiene ión bicarbo-
nato y proteína los cuales forman con el uranio uno de los
complejos de dicho mineral en el organismo .

3.- El uranio hexavalente es estable bajo ciertas
condiciones fisiológicas, pero el tetravalente puede con-
vertirse en hexavalente de una manera rápida .

4.- El complejo de bicarbonato difusible entra en-
seguida al torrente sanguíneo y se excreta rápidamente en
la orina (70%) o bien se deposita en el esqueleto (30%) .

A pesar de que las dosis no estan bien definidas;
en aire se pueden tolerar cantidades de 40 a 50 microgra-
mos de uranio por metro cúbico de aire, sin peligro. En
las concentraciones más bajas de polvos de uranio, los --
tejidos retienen como máximo, cerca de 0.4 microgramos
de uranio por gramo de tejido; con unas tres a seis veces
más de aumento en la concentración de uranio, en los te-

jidos aumenta de dos a cuatro veces; y con un aumento de cuarenta a cincuenta veces en la concentración de uranio, en los tejidos aumenta de tres a quince veces.

En general el pulmón contiene la menor cantidad de uranio; el riñón contiene una cantidad intermedia y el hueso la mayor cantidad. (2).

(2) Voethin Carl. Hodge Harold C, "Pharmacology and - Toxicology of Uranium Compounds". Mc Graw-Hill Book 1953. Tomo IV. pag. 2171

RADIATIVIDAD.

El descubrimiento de la radiactividad se debe a Becquerel quien en 1896 al estar estudiando la fluorescencia y fosforescencia de las sales de uranio y al tenerlas durante cierto tiempo junto con unas placas fotográficas, advirtió que éstas se habían impresionado de donde dedujo que las sales de uranio emitían unos rayos invisibles parecidos a los rayos X y catódicos pues tenían la propiedad de atravesar los cuerpos opacos, a estos rayos se les llamó "Rayos Becquerel".

En 1898 los esposos Curie notaron que el torio -- producía, como el uranio, rayos Becquerel y a estos -- cuerpos capaces de emitir rayos, los designaron cuerpos radiactivos. Estos rayos son: partículas alfa (núcleos de helio); partículas beta (electrones orbitales) y rayos gamma (radiaciones electromagnéticas de muy corta longitud de onda) (3) .

Posteriormente se encontró que los núcleos padre

cambian sucesivamente de isótopo a isótopo por la emisión de dichas partículas hasta que un núcleo final estable se produce. Se notó que habían series principales asociadas a los elementos radiactivos uranio, torio y actinio, cuyo núcleo final estable de estas tres series era un isótopo del plomo.

Los efectos de las partículas alfa debido a su energía pueden ser: químicos, en el que cabe citar el paso del oxígeno a ozono, de agua ordinaria a oxigenada, reducción de las sales férricas y mercúricas a ferrosas y mercuriosas; luminicos, al producir luminescencia en algunas sustancias; eléctricos, al descargar los electros copios debido a su poder ionizante del aire y fisiológicos, debido a la misma energía que poseen hace que se desprendan electrones de los átomos de los tejidos. (4).

(3) y (4). Friedlander Gerhart-Kennedy Joseph W. - "Nuclear and Radiochemistry". Ed. John Wiley and Sons. New York 1962. pags. 1 y 3

El campo que abarca el estudio de los fenómenos de la radiactividad y sus efectos es de inmensa amplitud los adelantos y estudios realizados al respecto son de una variedad asombrosa, podemos asegurar sin temor a equivocarnos, que apenas llevamos un corto espacio recorrido, si imaginamos con base a lo logrado, lo que se podrá hacer en un futuro lleno de grandes posibilidades.

En el presente trabajo nos vamos a concretar a enunciar:

- 1.- La naturaleza de los efectos de las radiaciones.
- 2.- La interacción de las radiaciones con la materia.
- 3.- Decaimiento de los elementos.
- 4.- Vida media y su cálculo.

Dichos puntos a tratar los consideramos de sumo interés dentro de la elaboración de la presente tesis.

El primer punto, porque en él se explica de una forma más o menos general los efectos de las radiaciones con la materia; en el segundo tratamos de explicar la naturaleza de los efectos de la radiación ligada al ambiente y sus consecuencias en el ser humano; en el tercer punto nos ocupamos del decaimiento, ya que es bien sabido que en dicho fenómeno los elementos emiten partículas; y el cuarto y final de los capítulos enunciados, porque el peligro de las radiaciones, entre otros, depende del tiempo a la exposición de éstas.

PARTICULAS ALFA.

De los 103 elementos conocidos, los alfa emisores se encuentran, sobre todo, en aquellos isótopos naturales cuyo número atómico es superior a 82, o sean los elementos llamados "pesados". El uranio se encuentra comprendido entre dichos elementos, ya que su número atómico es 92; se caracteriza por ser un alfa emisor; - siendo pues, las partículas alfa la base para la determi-

nación del uranio en el presente trabajo, haremos una descripción de ellas:

Son corpúsculos emitidos por el núcleo con una energía que puede variar de 2 Mev. a 10 Mev. (Millón electrón-voltio). El uranio 238 emite partículas alfa con una energía de 4.20 Mev.

La masa de las partículas alfa es de 4 con respecto al hidrógeno, están formadas por dos protones y dos neutrones, la carga eléctrica del ión es de más 2, debido a que las cargas de los protones no están neutralizadas con dos electrones orbitales.

Las partículas alfa de una desintegración en particular, son emitidas con una energía uniforme y su alcance es casi constante. El alcance de una partícula alfa puede definirse como la distancia que recorre la partícula a través del aire en condiciones normales, que son, generalmente, una temperatura de 15°C y presión de una atmósfera, desde su fuente de origen hasta el punto en

que ya no pueden producir una ionización apreciable. El proceso de ionización requiere un gasto de energía de las partículas alfa- aproximadamente 32.5 electrón-voltios para cada par iónico que se forma en aire- de manera que al final de su trayectoria, la energía y por lo tanto, la velocidad habrán disminuído considerablemente. En estas circunstancias existe una gran probabilidad de que primero uno y después otro electrón, se adhieran a la partícula alfa, que es un núcleo escueto de helio (He^{++}) - y así convertirlo primero en He^+ y después en un átomo neutro de helio.

No todas las partículas alfa pierden igual cantidad de energía en su encuentro con las moléculas en su trayectoria y, por lo tanto, no todas dejan de producir ionización a la misma distancia; esta pequeña variación en su alcance, es llamada frecuentemente "expansión", la cual se debe en parte, a la formación de iones He^+ , mediante la adhesión de un electrón a alguna partícula alfa;

todavía estos iones poseen ionizante, hasta que capturan otro electrón y se convierten en átomos neutros de helio, los cuales no producen ionización del aire y así la ionización específica decae abruptamente. Dada su alta ionización específica, la cual representa el número de pares iónicos formados por centímetro de trayectoria, la distancia recorrida en un medio dado es pequeña; en caso de partículas de igual masa, la ionización específica aumenta según la magnitud de la carga y, en particular de igual energía, aumenta con la masa, es decir, con menor velocidad, ya que siendo más lenta pasa más tiempo junto al átomo o las moléculas del gas que atraviesa, aumentando así las probabilidades de que ocurra la ionización. (5)

El alcance de las partículas alfa depende del medio en que se desplazan. Para fines prácticos, es más conveniente emplear el poder de detención relativo, de manera que en cualquier material, el poder de detención relativo es igual, al alcance de la partícula alfa en el

aire, dividido por el alcance de la partícula alfa en el material.

Los diferentes materiales permiten el paso de las partículas alfa hasta cierto grado; en emulsión fotográfica son de una longitud de sólo unas milésimas de pulgada. En la cámara de niebla, la trayectoria de las partículas alfa son, por lo general, de 2.5 a 7.5 centímetros; empleándose el mismo núcleo productor de dichas partículas.

Las partículas alfa de los núcleos radiactivos de más larga vida, son emitidos con más corto alcance y las partículas alfa de los núcleos radiactivos de más corta vida, son emitidos con más largo alcance.

Debido a la gran masa y alta energía, las partículas alfa tienen alta ionización específica, la cual trae como consecuencia un recorrido pequeño de dichas partículas en un medio dado. En aire una partícula alfa de 3 Mev, tiene un alcance de 1.6 cm. y sería detenida por

una lámina de aluminio de un espesor aproximado de 0.015 mm; su alcance en el aire a 1 atmósfera de presión y 15°C viene dado por la ecuación $R = 0.318 E^{2/3}$. Donde R es el alcance en centímetros; E es la energía de la partícula alfa en Mev.

La interacción de las partículas alfa con los electrones puede conducir a la disociación molecular o a la excitación o ionización de átomos y moléculas con la consiguiente pérdida de energía de dichas partículas; el efecto de la ionización es el más empleado para la medición de las partículas alfa. (6) (5) y (6). Glasstone Samuel. "La Energía Atómica" Ed. Continental.- México 1960. pags. 242 y 247.

INTERACCION DE LA RADIACION ALFA CON LA MATERIA .

La principal interacción entre las partículas alfa con la materia, es la ionización. Dado que las partículas alfa llevan una doble carga positiva, tienden a desprender electrones de los átomos que están cerca de donde pasan, dejando pares-iónicos en su trayectoria. Se requiere aproximadamente 32.5 ev. para formar un par iónico en aire, de tal manera que si se quiere conocer el número de pares-iónicos formados por las partículas alfa detenidas en el aire, basta dividir la energía original de la partícula entre 32.5 ev. En realidad algo de la energía de la partícula alfa, que pasa através del material, se transforma en energía de excitación de los electrones que no son desprendidos de su núcleo (7)

El alcance de las partículas alfa en el aire se define como la distancia que la partícula viajará antes de ser detenida. Es una función de la energía inicial de la partícula .

El alcance de una partícula alfa en un sólido puede ser expresada en términos del equivalente en el aire, o por el número de centímetros de aire necesarios para detener partículas alfa, de la misma energía que las detenidas por un grosor dado del sólido. (8).

(7) y (8) Murphy Glenn. "Ingeniería Nuclear".

Ed. Continental. México Agosto de 1962. pags. 74 y 75.

NATURALEZA DE LOS EFECTOS DE LA RADIACION.

1.- No existe un receptor sensitivo para acusar la presencia de la radiación en el ambiente y permitir una acción evasiva.

2.- Hay alguna recuperación de los efectos de la radiación, pero cuando el daño producido por la radiación se debe a grandes periodos expuestos a ella, posiblemente no hay recuperación.

3.- Los efectos de los grandes periodos tienden a ser similares a las enfermedades normalmente presentes en la población y de allí que resulte difícil establecerlos como

resultado de la exposición a la radiación.

4.- El daño resultante de la radiación en grandes periodos es acumulativo e independiente de la fuente u origen de la radiación, ya que el efecto de la radiación depende de la dosis acumulada. Existe una dosis mínima debajo de la cual ningún efecto es evidente. (9)

Tan pronto como se descubrió la radiación, fué reconocida como peligrosa; los esfuerzos para reducir y entender estos peligros se comenzaron en 1920 en Estados Unidos. El primer patrón fué adoptado en 1928, era una unidad de dosis uniforme: el Röentgen (cantidad de radiación que produce una unidad electrostática de cargas positivas y negativas, es decir, de ionización, en un centímetro cúbico de aire seco, a la presión de 760 mm. de mercurio y a la temperatura de 0°C). Energéticamente equivale a liberar una cantidad de energía de 83 ergios por gramo. La unidad de intensidad de radiación es el Röentgen por unidad de tiempo. (10) (9) y (10) Occupational Radiation Protection, U.S. Department. New York. January 1963. pags. 35 y 38.

DECAIMIENTO Y VIDA MEDIA .

La determinación del factor de decaimiento radiactivo y consecuentemente, de las vidas medias, es una de las determinaciones más importantes de cuantas se efectúan en elementos radiactivos . Los métodos empleados dependen de la suposición, que va en perfecto acuerdo con los hechos conocidos, de que cada átomo radiactivo de determinada especie expulsa de su núcleo, ya sea una partícula alfa, una partícula beta o gamma al desintegrarse. Como resultado, el número de átomos que se desintegran en un tiempo determinado, pueden calcularse mediante el conteo de las partículas alfa, beta o gamma emitidas. (11)

DECAIMIENTO RADIATIVO.

Se define el decaimiento radiactivo como la desintegración de los núcleos de un elemento inestable por la emisión espontánea de partículas cargadas y fotones, su constante de decaimiento es la fracción del número de átomos de un isótopo radiactivo que en la unidad de tiempo se desin-

tegran, es llamada también esta constante, factor radiactivo, se designa por la letra griega lambda y es una propiedad definitiva y específica de cada elemento radiactivo. Su valor depende exclusivamente de la naturaleza de la especie y es independiente de su estado, de su condición física o combinación química. Dentro de los límites permisibles, dentro del laboratorio, tampoco la afectan los cambios de temperatura o presión. El factor radiactivo es, pues, un medio de caracterizar al elemento radiactivo.

(11) Friedlander Gerhart-Kennedy Joseph W. "Nuclear and Radio-chemistry". John Wiley and Sons. New York. 1962. pag. 7

De acuerdo con la definición de probabilidad de emisión de una partícula alfa (la emisión de una partícula alfa de un material radiactivo, no es un proceso instantáneo, sino que ocurre a un ritmo promedio establecido por la naturaleza y cantidad de los materiales radiactivos y que es de naturaleza estadística) de un núcleo, el

ritmo de emisión es proporcional al número de núcleos radiactivos presentes, siendo λ la constante de proporcionalidad. En forma de ecuación:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \dots (1)$$

en la que N es el número de núcleos radiactivos originales en cualquier tiempo.

t : es el tiempo.

λ : es la constante de desintegración.

El signo negativo es necesario, dado que el número de núcleos radiactivos originales decrece con el tiempo.

La ecuación (1) puede reordenarse e integrarse:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \dots (2)$$

$$\ln N = -\lambda t + C \dots (3)$$

El número de núcleos radiactivos originales, presentes al tiempo cero, puede designarse como N_0 . Entonces:

$$\ln N_0 = C \dots (4)$$

$$\text{y } \ln N = \ln N_0 - \lambda t \dots (5)$$

de la que

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \dots (6)$$

$$o \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \dots (7)$$

$$y \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \dots (8)$$

La ecuación (8) muestra que el número de núcleos radiactivos originales, disminuye exponencialmente con el tiempo, y puede aproximarse a cero, pero no llega a ser igual a cero en un tiempo finito. Dado que el ritmo de desintegración de los núcleos o el ritmo de emisión de radiactividad decrece con el tiempo, el proceso es frecuentemente llamado decaimiento radiactivo o degeneración radiactiva. (12)

(12) Murphy Glenn. "Elementos de Ingeniería Nuclear". Ed. Continental. México. Agosto de 1962. pags. 71, 72 y 73.

VIDA MEDIA.

Fué Rutherford quien introdujo en 1904 otro factor de decadencias radiactivas llamada vida media, el cual se emplea comunmente como propiedad característica -

del núcleo. La vida media es el tiempo requerido para que la radiactividad de una cantidad del núcleo se reduzca a la mitad de su valor inicial.

Los núcleos de los elementos radiactivos se desintegran en forma logarítmica; supongamos por ejemplo, que un núcleo radiactivo determinado tiene una vida media de una hora. Comenzando, con un gramo del elemento, la mitad de éste, 0.5 gramos, se habrá desintegrado en una hora, de modo que quedan 0.5 gramos sin desintegrarse. Durante la siguiente hora, la mitad de esta cantidad, 0.25 gramos se desintegrarán dejando 0.25. Al finalizar la tercera hora habrá degenerado otro 0.125 de gramo, y así sucesivamente. En cada hora subsecuente la cantidad efectiva que se desintegra es menor que en la hora anterior, aún cuando siempre es la misma fracción de la cantidad presente al iniciarse. (13)

(13). Glasstone Samuel . "La Energía Atómica". Ed. Continental México 1960. pag. 189.

De la ecuación:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots (8)$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \dots\dots (9)$$

$$e^{\lambda t_{1/2}} = 2 \dots\dots (10)$$

Entonces

$$t_{1/2} = \ln 2 = 0.693 \dots\dots (11)$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \dots\dots(12)$$

Lo cual se conoce como vida media del núcleo -
radiactivo. La vida media del uranio 238, es de 4.55×10^9 años. (14) Ed. Continental. México Agosto de -
1962. pag. 73.

ACTIVIDAD ESPECIFICA: A_{esp} .

Actividad específica de la muestra de un elemento, es el número total de átomos radiactivos del elemento, - presentes en dicha muestra.

A_{esp} : Desintegraciones/segundo por gramo: $\frac{0.693 N}{t_{1/2}}$

N: número de átomos radiactivos por gramo.

$t_{1/2}$: vida media expresada en segundos.

Para calcular la actividad específica es más conveniente usar una variación de la ecuación básica, la cual queda transformada de la forma siguiente:

Por definición N: número de Avogadro entre el peso atómico, lo cual es igual a: $\frac{6.03 \times 10^{23}}{\text{P.A.}}$

Por definición: Desint/seg. $\times 3.7 \times 10^{10}$: Curies.

Sustituyendo:

$$A_{\text{esp}} = \frac{0.693}{t_{1/2}(\text{en seg})} = \frac{0.693}{t_{1/2}} \times \frac{6.03 \times 10^{23}}{\text{P.A.}} \times \text{---}$$

$$\frac{1}{3.7 \times 10^{10}} = \frac{\text{Curie}}{\text{gramo}}$$

Esta ecuación se satisface cuando la vida media del núcleo cuya actividad específica se necesita, está expre -

sada en segundos .

Como quiera, si la vida media está expresada en otras unidades tales como minutos, horas, días, años, se necesita una conversión del tiempo para cada una; a continuación damos las conversiones:

$$A_{\text{esp.}} = \frac{1.13 \times 10^{13}}{t_{1/2} \text{ P.A.}} \quad (\text{Para } t_{1/2} \text{ en segundos})$$

$$A_{\text{esp.}} = \frac{1.884 \times 10^{11}}{t_{1/2} \text{ P.A.}} \quad (\text{Para } t_{1/2} \text{ en minutos})$$

$$A_{\text{esp.}} = \frac{3.14 \times 10^9}{t_{1/2} \text{ P.A.}} \quad (\text{Para } t_{1/2} \text{ en horas})$$

$$A_{\text{esp.}} = \frac{1.308 \times 10^8}{t_{1/2} \text{ P.A.}} \quad (\text{Para } t_{1/2} \text{ en días})$$

$$A_{\text{esp.}} = \frac{3.59 \times 10^5}{t_{1/2} \text{ P.A.}} \quad (\text{Para } t_{1/2} \text{ en años}) \quad (15)$$

(15) "Radiological Health". U.S. Department of Health, Washington D.C. september 1960. pag. 103.

METODO USADO PARA OBTENER URANIO MEDIBLE EN ORINA.

1.- Existen varios métodos para la determinación de uranio, entre ellos citaremos el fluorométrico; se basa en la propiedad que tiene el uranio de provocar fluorescencia en ciertas sustancias, debido a esta propiedad del uranio se fabrican pastillas con tabletas de fluoruro de litio al 20% y fluoruro de sodio al 98% en planchetas de platino, luego de dejar enfriar, se mide la fluorescencia producida por el uranio en un fluorómetro de Galvanek-Morrison. (16)

Este método requiere mucho cuidado, además de lo costoso de los materiales empleados, razón por la cual se escogió el de Oak Ridge, el cual a parte de lo barato que resulta, es mucho más rápido, menos complicado y de gran exactitud.

2.- El método usado (Oak Ridge) para la determinación de uranio en orina en el presente trabajo, consiste esencialmente en la destrucción de materia orgánica -

por oxidación húmeda, extracción del uranio con fosfato de tributilo y medición de la actividad del uranio; en el se consumen sólomente los reactivos, los cuales no son caros; ya que el material empleado se puede seguir utilizando sucesivamente, para lo cual sólo se requiere hacerles una limpieza adecuada para evitar que queden contaminados de las muestras precedentes.

(16). Contanni Frederick A., Ross Arthur. "Analytical Chemistry" Vol. 28, No. 11. New York. November 1956. - pags. 16517.

MATERIAL EMPLEADO.

- 1.- 10 probetas con tapón esmerilado de 50 ml. c/u.
- 2.- 10 embudos de separación de 125 ml. c/u.
- 3.- 1 embudo de separación de 2000 ml.
- 4.- 10 vasos de precipitado de 400 ml. c/u.
- 5.- 10 vasos de precipitado de 150 ml. c/u.
- 6.- 12 pipetas volumétricas de 20 ml. c/u.
- 7.- 2 pipetas graduadas de 10 ml. c/u.
- 8.- 10 botellas rectangulares color ámbar.
- 9.- papel de estano.
- 10.- 1 estufa.
- 11.- 1 lámpara de rayos infrarrojos.
- 12.- 1 baño de arena.
- 13.- 1 mechero.
- 14.- planchetas.
- 15.- 1 bomba de vacío.
- 16.- 1 calibrador de flujo.
- 17.- 1 muestreador de aire (monitor).
- 18.- filtros de celulosa de la Millipore.
- 19.- 1 contador proporcional de partículas alfa.

REACTIVOS EMPLEADOS.

- 1.- Acido nítrico concentrado.
- 2.- Acido nítrico 0.1N.
- 3.- Acido nítrico 0.2N.
- 4.- Carbonato de sodio 0.25N.
5. Peróxido de hidrógeno al 30%.
6. Fosfato de tributilo (PTB).
7. Hexano.
8. Citrato trisódico.
9. Acido cítrico.
10. Timol.

PREPARACION DE LA SOLUCION DE FOSFATO DE TRIBUTILO AL 30% EN HEXANO.

1. Coloque 30 ml. de fosfato de tributilo y 970 ml. de hexano en un embudo de separación de 2000 ml.
2. Lave la solución 3 veces con 500 ml. de ácido nítrico 0.2N descartando la solución de lavado en cada ocasión.
3. Lave la solución 3 veces con 500 ml. de agua destilada, descartando el agua de lavado en cada ocasión.

- 4.- Lave la solución 3 veces con 500 ml. de carbonato de sodio 0.25N descartando la solución de lavado en cada ocasión.
- 5.- Lave la solución 3 veces con 500 ml. de agua destilada, descartando el agua de lavado en cada ocasión.
- 6.- Guarde la solución en un recipiente adecuado.

TECNICA DE MUESTREO DE ORINA PARA LA DETERMINACION DE URANIO.

El mejor tiempo para coleccionar muestras es cuando comienza o concluye la semana de trabajo, ya que asi se obtienen ambos niveles de exposición y la retención del uranio en el cuerpo.

Se necesita una gran precaución para prevenir su contaminación, una pequeña partícula de uranio en forma de polvo, es suficiente para alterar la muestra de orina. Se recomienda que el personal que va a ser estudiado, proporcione muestras sólomente después de un baño completo y un cambio de la ropa de trabajo.

Las muestras deberán ser colectadas en un área libre de polvos, preferiblemente bajo supervisión. Los vasos colec-

tores deberán estar escrupulosamente limpios y conservados bien tapados antes y después de la colección de las muestras. (17).

De ser posible, la muestra deberá ser analizada inmediatamente para su conteo de uranio, lo cual debe hacerse en un área especial para su análisis; las muestras de orina se recomienda que sean almacenadas en botellas color ámbar de 250 ml. cada una, de forma rectangular, las cuales son más cómodas para contener las muestras, ya que más de 250 ml. no son requeridos para su estudio.

Por otra parte son más económicas y están menos sujetas a dañarse; dichas botellas antes de enviarse para coleccionar las muestras, se limpian completamente con jabón y agua; durante la noche se dejan empapadas con mezcla crómica, luego se lavan con agua destilada; se dejan durante un día empapadas con ácido nítrico diluído y finalmente se lavan con agua destilada; se secan invirtiéndolas durante la noche en una atmósfera libre de polvos. (18).

(17) y (18) Voegtlin Carl Hodge Harold C. "Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds". Mc Graw-Hill Book. IV - Tomo New York 1953. pags. 2252 y 2253.

EXTRACCION DE URANIO EN ORINA USANDO FTB. SEGUN EL METODO DE OAK RIDGE MODIFICADO.

I.- MUESTREO: 100 ml. DE ORINA Y 20 ml. DE ACIDO NITRICO.

1.- Coloque 10 ml. de orina en un vaso de 400 ml.

2.- Añada 20 ml. de ácido nítrico concentrado.

3.- Cubra el vaso con un vidrio de reloj y evapore a sequedad. La última parte de la evaporación se hace en baño de arena para evitar proyecciones del material al exterior.

II.- DESTRUCCION DE MATERIA ORGANICA: TRATAMIENTO CON HNO_3 Y H_2O_2 .

4.- Añada de 2 a 3ml de ácido Nítrico concentrado y evapórese a sequedad en baño de arena.

5.- Añada de 2 a 3 ml. de agua oxigenada (al 30%) y evapore a sequedad en baño de arena.

6.- Repita los pasos 4 y 5 hasta que sólo quede un residuo de cenizas blancas.

III.- PREPARACION DE LA SOLUCION PARA LA EXTRACCION CON FTB. HAGA LA SOLUCION 2M EN $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ Y 1M EN HNO_3 .

- 7.- Lave las paredes del vaso y el vidrio de reloj con agua destilada .
- 8.- Añada 0.75 ml. de HNO_3 concentrado y evapore a un volumen de 4 a 5ml. en baño de arena .
- 9.- Añada 15 gramos de $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y caliente en baño de arena .

EL LIQUIDO NO DEBE HERVIR.

- 10.- Estando aún caliente, transfiera el líquido a una probeta de 50 ml. con tapón esmerilado. Lave el vaso con 0.75ml. de ácido nítrico concentrado y 2 a 3ml. de agua destilada. El volumen total en la probeta debe ser de 18 a 20 ml. más o menos .

IV.- EXTRACCION DEL URANIO CON FOSFATO DE TRIBUTILO (FTB). TRES EXTRACCIONES CON 20 ml. DE UNA SOLUCION DE FTB EN HEXANO (AL 30%)

- 11.- Añada 20 ml. de la solución de FTB en hexano al 30% y agite durante dos minutos .

- 12.- Espere 15 minutos para que se separen las fases.
- 13.- Con una pipeta transfiera la fase orgánica a un embudo de separación de 125 ml.
- 14.- Repita los pasos 11, 12 y 13 tres veces,
- V.- SEPARACION DEL URANIO DE LA SOLUCION DE FTB. SE HACEN TRES SEPARACIONES CON PORCIONES DE 20 ml. DE HNO_3 0.1N.
- 15.- Añada 20 ml. de HNO_3 0.1N a los 60 ml. de solución de FTB que están en el embudo de separación.
- 16.- Agite la solución 30 segundos y espere 2 minutos para que se separen las fases. Pase la fase acuosa a un vaso de 100 ml.
- 17.- Repita los pasos 15 y 16 tres veces.
- VI.- PREPARACION DE LA MUESTRA PARA EL CONTEO.
- 18.- Evapore la solución acuosa casi a sequedad, en baño de arena.
- 19.- Lave las paredes del vaso con 2 o 3ml. de ácido nítrico diluído y evapore casi a sequedad: (1ml. aproximadamente).

- 20.- Transfiera la muestra a un disco de acero inoxidable. Lave las paredes del vaso con 10 gotas de ácido nítrico O. IN.
- 21.- Seque el disco en una lámpara de rayos infrarrojos y calientelo después en un mechero hasta que alcance un color rojo oscuro.
- 22.- Mida la actividad alfa de la muestra.

En el presente trabajo, antes de dar a conocer los resultados obtenidos haremos ciertas descripciones y daremos a conocer ciertos problemas que consideramos de interés.

1.- Llamamos plancheta, a los plásticos o discos de acero donde transferimos la muestra en que suponemos o tenemos el uranio para determinar. Dichos discos deberán ser de acero inoxidable o de otro material que reúna esas condiciones, esto es muy importante ya que de no ser así, el ácido nítrico los oxidaría formando óxidos o sales del metal, trayendo como consecuencia la absorción de las partículas alfa en dichos óxidos o sales (ya hemos visto en capítulo -

anterior la facilidad con que éstas son detenidas) y como consecuencia un error muy considerable. Para mayor seguridad, es recomendable, que antes de ser usados estos discos, provarlos con ácido nítrico, para lo cual basta con ponerles unas gotas y calentarlos al mechero.

2.- Portamuestras, es el sitio en que van colocadas las planchetas en el contador: en nuestro caso las colocamos directamente, en otros contadores se usan las planchuelas antes de ponerlas en el contador, estas planchuelas son de forma cilíndrica y llevan en el centro un espacio acondicionado para colocar las planchetas, el material de que están hechas no ofrece mayores problemas, ya que la muestra no está en contacto con ellas, sirve a manera de soporte a las planchetas.

3.- En el lavado de la solución de fosfato de tributilo, debe hacerse sin agitar, moviendo el embudo de separación en forma circular, ya que la solución puede emulsionarse; esta solución de FTB, al final casi siempre presenta cierta

turbidez, la cual se elimina filtrando la solución en papel filtro.

4.- Al estar extrayendo el uranio con la solución de - FTB. si los embudos de separación en sus llaves de paso tienen como soporte gomas para que éstas no se salgan, no deben dejarse las muestras de uranio para otro día, ya que el hexano ataca a las gomas y por presión se saldrían o aflojarían las llaves derramándose el contenido.

5.- Otro de los problemas que se presentan se debe a los obreros, quienes no dan importancia al trabajo o estudio que se lleva a cabo, así en las muestras de orina que deben aportar, se les recomienda sea por lo menos de 100 ml. pero muchos de ellos no lo hacen, entregando muestras insuficientes, lo cual trae como consecuencia pérdida de tiempo; aparte de que hay que volver a lavar los recipientes; en otros casos, por descuido u otro motivo perdieron los envases; a pesar de que se les entregaron hojas escritas en las que se les explicaba la forma de hacer la colección de las muestras

y la cantidad necesaria para ser analizadas, así como también la importancia que para la protección de su salud, significaba dicho estudio.

CUENTAS OBTENIDAS DE LAS MUESTRAS DE ORINA.

Fondo de las planchetas.

1.- 0.45 cpm.

2.- 0.12 cpm.

3.- 0.10 cpm.

Plancheta.	Portamuestras.	Ctas.en 30 mts.	ctas.netas.
1-----	2-----	26-----	0.74
2-----	2-----	5-----	0.04
3-----	3-----	7-----	0.13
4-----	1-----	17-----	0.11
5-----	2-----	14-----	0.34
6-----	3-----	10-----	0.23
7-----	2-----	11-----	0.24
8-----	3-----	7-----	0.16
9-----	1-----	18-----	0.15
10-----	1-----	17-----	0.11
11-----	2-----	13-----	0.34
12-----	3-----	9-----	0.20
13-----	1-----	14-----	0.01
14-----	2-----	21-----	0.58
15-----	3-----	12-----	0.30
16-----	1-----	22-----	0.16
17-----	2-----	14-----	0.34
18-----	3-----	7-----	0.15
19-----	1-----	17-----	0.11
20-----	2-----	16-----	0.44

CALCULOS DE URANIO PARA ORINA.

En los cálculos para obtener la cantidad de uranio en orina, vamos a hacerlo en aquellas muestras en las que nos resultaron las mayores y menores cuentas por minuto, ya que no consideramos indispensable hacer todos los cálculos de las muestras -- procesadas.

dps: Desintegraciones por segundo.

cpm: Cuentas por minuto.

ci: Curie: 3.7×10^{10} dps.

ug: Microgramos,

E: Eficiencia del contador: 65% .

A_{esp} : Actividad específica. Para el uranio 238 es de 3.35×10^7 ci/g.

$$1.- \text{dps} = \frac{\text{cpm}}{60 \times E} = \frac{0.74}{60 \times 0.65} = \frac{0.74}{39} = 0.0182 \text{ dps} = 18.2 \times 10^{-3} \text{ dps.}$$

$$\text{ci} = \frac{\text{dps}}{3.7 \times 10^{10}} = \frac{18.2 \times 10^{-3}}{3.7 \times 10^{10}} = \frac{18.2 \times 10^{-13}}{3.7} = 4.9 \times 10^{-13} \text{ ci.}$$

$$3.35 \times 10^{-7} \text{ — lg.}$$

$$4.90 \times 10^{-13} \text{ — X.}$$

$$X = 1.46 \times 10^{-6} = 1.46 \text{ ugU/100 ml} = 14.6 \text{ ugU/litro.}$$

$$2.- \text{ dps} = \frac{\text{cpm}}{60 \times 0.65} = \frac{0.01}{39} = 0.00025 \text{ dps} = 25 \times 10^{-5} \text{ dps.}$$

$$X = 2 \times 10^{-8} = 0.02 \times 10^{-6} = 0.02 \text{ ugU/100ml} = 0.2 \text{ ugU/litro}$$

TECNICA DE MUESTREO DE URANIO EN MEDIO AMBIENTE.

1.- Las muestras se toman con un muestreador de aire de la "Millipore" Filter Corp., los cuales en su denominación general se conocen con el nombre de Monitores.

Estos monitores son de forma cilíndrica, compuestos por dos tapas circulares de plástico con un orificio en el centro de ambas tapas, por el cual circula el aire, entre estas dos tapas en un espacio acondicionado se encuentra una especie de cartoncito, el cual sirve de soporte al filtro en el que se colectan las muestras de polvos de ambiente que se van analizar; el filtro es de celulosa y de poros cerrados.

Estos monitores se emplean conjuntamente con una bomba de vacío y un sistema de calibración de flujo; dichas muestras se toman aplicando el siguiente criterio;

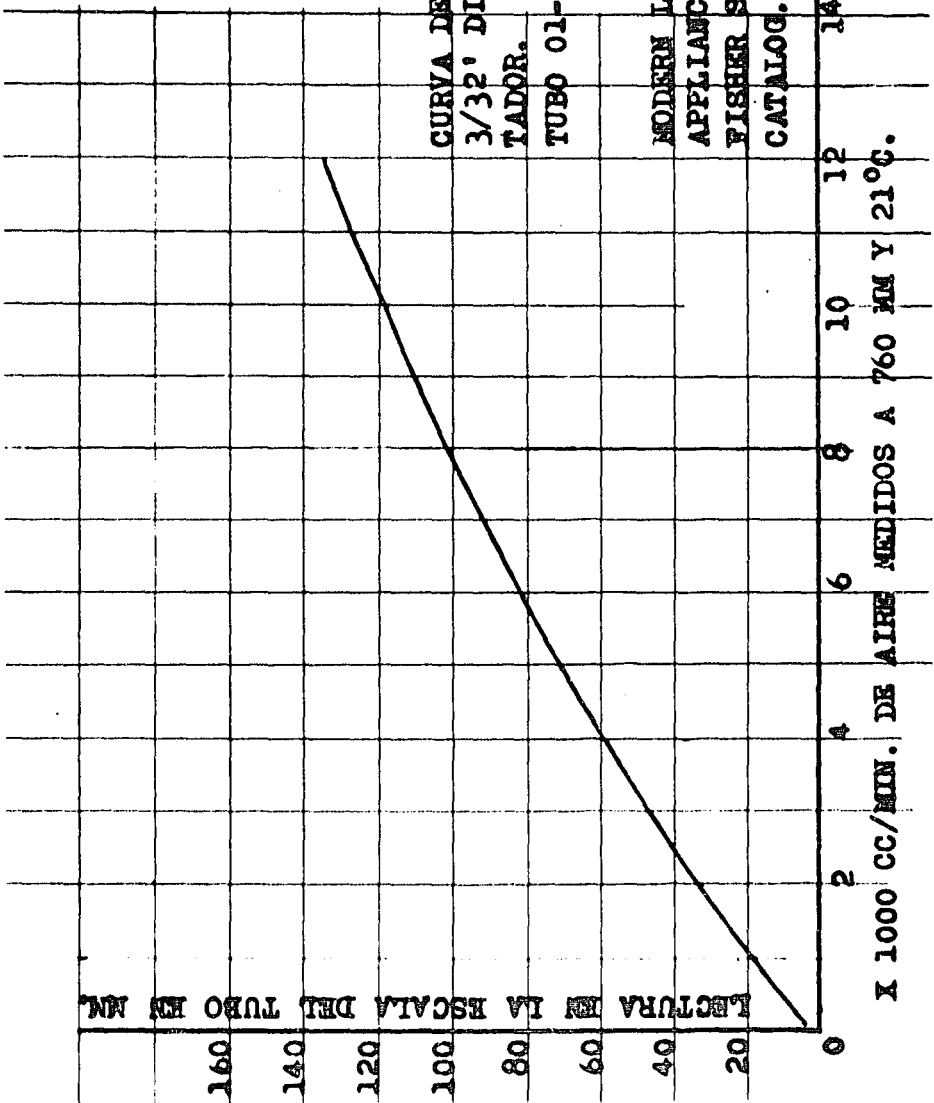
a.- La intensidad de flujo del muestreo y el tiempo de los mismos deberá depender de las cantidades de polvos que haya en la atmósfera o ambiente, dato que se debe estimar con muestras previas para normar el juicio del muestreo, ya que si la cantidad de polvos es grande, tanto el tiempo como el flujo deberán reducirse o viceversa.

b.- Como el peligro de los polvos se debe a su inhalación, los monitores se colocarán a la altura de la nariz, más o menos, según la posición de los obreros al estar trabajando.

c.- Las fechas y números de las muestras deberán quedar a juicio del muestreador, pero es recomendable muestrear por lo menos una vez cada quince días.

2.- Los resultados se expresarán en microgramos de uranio por metro cúbico de aire, y el método o los métodos deberán ser aplicados de acuerdo a los resultados previos obtenidos.

LECTURA EN LA ESCALA DEL TUBO EN MM.



CURVA DE CALIBRACION.
3/32" DIAMETRO DEL FLO-
TADOR.

TUBO 01-N-150-A

MODERN LABORATORY
APPLIANCES.
FISHER SCIENTIFIC.
CATALOG. No 11-164.

X 1000 CC/MIN. DE AIRE MEDIDOS A 760 MM Y 21°C.

C 25607.

CALCULO DE LA CANTIDAD DE AIRE MUESTREADA .

La cantidad de aire muestreada se calcula con la gráfica anexa; el flujo se debe mantener constante durante todo tiempo escogido para tal fin.

El calibrador de flujo está graduado en mm. y por medio de una bolita o flotador nos indica en la escala el flujo; luego en la gráfica vemos a que cantidad de aire corresponde el flujo elegido.

Pongamos por ejemplo que muestreemos con un flujo de 8 mm durante treinta minutos; en la gráfica vemos que este flujo corresponde a 6 cc de aire por minuto, pero también nos indica la gráfica que dicha cantidad debe ser multiplicada por mil, o sea que en un minuto hemos muestreado 6000 cc de aire; pero como el tiempo empleado en el muestreo no fué de un minuto sino de treinta minutos, tendremos que multiplicar dicha cantidad por treinta para así obtener la cantidad de aire muestreada en el tiempo escogido, o sea que son 180,000 cc de aire lo que muestreemos.

CONDICIONES Y CUENTAS OBTENIDAS DE LAS MUESTRAS DE AIRE.

Porta-

Pchta.- muestra.-Flujo.-Tiempo.-Extractor.-Tamiz.-Ctas.30 min.-Ctas Ntas.

1----- 2----- 10---60min.----Sin.-----Sin.----- 49----- 0.46

2----- 1----- 10---60min.---- Con.-----Con.----- 23----- 0.31

3----- 3----- 8---30min.----Sin.-----Con.-----444-----14.70

4----- 2-----12---60min.---- Sin.----- Sin.----- 26----- 0.34

1----- 2-----10---60min.----Sin.----- Sin.----- 60----- 0.88

2----- 1----- 10---60min.----Con.-----Con.----- 27----- 0.28

3----- 3----- 8---30min.---- Sin.----- Con.-----464-----15.36

4----- 2-----12---60min.----Sin.-----Sin.----- 26----- 0.36

Las muestras señaladas con el número uno, o sean las correspondientes a 0.46 cuentas netas y 0.88 cuentas netas, se tomaron 30 minutos después de dejar de trabajar; y las muestras correspondientes a 0.34 y 0.36 cuentas netas respectivamente, se tomaron tres días después de haber dejado de trabajar; estando el local sin uso de trabajo.

CALCULOS PARA URANIO EN AMBIENTE.

En los cálculos presentes, al igual que para la determinación de uranio en orina, vamos a escoger aquellas muestras cuyo estudio nos va a servir para marginar los límites máximos y mínimos en la concentración de uranio en el ambiente, según las condiciones elegidas,

Dichos cálculos vamos a referirlos en $\mu\text{gU}/\text{m}^3$ de aire muestreado; sabiendo por patrones ya establecidos que pueden soportarse de 40 a 50 microgramos de uranio por metro cúbico de aire sin peligro para la salud humana; en tal forma podemos establecer nuestras condiciones y el por qué.

MUESTREO

FLUJO.	TIEMPO.	VOLUMEN.
10mm.	60 minutos.	48×10^4 cc.de aire.
8mm.	30 minutos.	18×10^4 cc.de aire.

dps: Desintegraciones por segundo.

cpm: Cuentas por minuto.

ugU: Microgramos de uranio.

A esp. Actividad específica del uranio 238: 3.35×10^{-7} ci/g.

ci: Curie = 3.7×10^{10} dps.

E: Eficiencia del contador = 65 %

1).

$$\text{dps} = \frac{\text{cpm}}{60 \times E} = \frac{15.36}{60 \times 0.65} = \frac{15.36}{39} = 0.39 \text{ dps.}$$

$$\text{ci} = \frac{\text{dps}}{3.7 \times 10^{10}} = \frac{39 \times 10^{-2}}{3.7 \times 10^{10}} = 10.5 \times 10^{-12} \text{ ci.}$$

$$3.35 \times 10^{-7} \text{ ——— } 1 \text{ g.}$$

$$10.50 \times 10^{-12} \text{ — } X$$

$$X = 31 \times 10^{-19} \text{ g.}$$

$$X = 31 \text{ ugU.}$$

El flujo para la presente muestra fué de 8 mm y el tiempo de muestreo de 30 minutos, por lo tanto si ya conocemos la cantidad de aire, calculada en el ejemplo que pusimos en un capítulo anterior, la cual nos resultó 18×10^4 cc. de aire, tendremos: $31 \text{ ugU}/18 \times 10^4$ cc de aire muestreados; los cuales al referirlos a ugU/m^3 de aire nos resulta; $31 \text{ ugU}/0.18\text{m}^3$ de aire muestreados, o sean $310 \text{ ugU}/1.8 \text{ m}^3$ de aire; si tomamos como límite máximo permisible $50 \text{ ugU}/\text{m}^3$ de aire y haciendo los cálculos aproximados, tendremos que la concentración de uranio es tres veces mayor que el límite, lo cual se debe a que el extractor no estaba funcionando cuando muestreamos.

2).

$$\text{dps} = \frac{\text{cpm}}{60 \times E} = \frac{0.28}{60 \times 0.65} = \frac{0.28}{39} = 0.007 \text{ dps.}$$

$$\text{ci} = \frac{\text{dps}}{3.7 \times 10^{10}} = \frac{7 \times 10^{-3}}{3.7 \times 10^{10}} = \frac{7 \times 10^{-13}}{3.7} = 1.89 \times 10^{-13} \text{ ci.}$$

$$3.35 \times 10^{-7} \text{ — 1 g.}$$

$$1.89 \times 10^{-13} \text{ — X.}$$

$$X = 0.56 \times 10^{-6} \text{ g.}$$

$$X = 0.56 \text{ ugU.}$$

Como el flujo fué de 10 mm y el tiempo de 60 minutos tendremos: $0.56 \text{ ugU}/48 \times 10^4 \text{ cc.}$ de aire muestreados; al referirlos a ugU/m^3 de aire, nos resulta: $0.56 \text{ ugU}/0.48\text{m}^3$ de aire muestreados o sean $5.6 \text{ ugU}/4.8 \text{ m}^3$ de aire; refiriéndolo dichos cálculos de igual forma que en el problema anterior, encontramos que la cantidad de uranio de la muestra está aproximadamente cincuenta veces por debajo del límite permisible; lo que se debe a que el extractor estaba funcionando, ya que ambas muestras se tomaron el mismo día.

BREVE DESCRIPCION DEL CONTADOR PROPORCIONAL.

Para el conteo de las partículas alfa se empleó un contador proporcional, cuyo fundamento estriba en la producción de pares iónicos; se le denomina proporcional porque son proporcionales los pulsos producidos con respecto a los iones formados.

El cuerpo del contador es un cilindro macizo de bronce con un diámetro de 15 cm. en el cual se ha construido una cámara con un volumen aproximado de 20ml.; el interior de éste fué pulido a espejo teniendo cuidado de evitar asperezas en el mismo que pudieran ocasionar descargas espurias por efecto corona; la longitud de la meseta (región en la cual aunque se aumente el voltaje, las cuéntas permanecen casi constantes) es de 120 voltios; la eficiencia para partículas alfa es de 65⁰/₀.

El gas empleado se le designa con el nombre de gas "Q", el cual es una mezcla de 1.3⁰/₀ de butano (para frenar descargas excesivas de los productos de la ionización), y 98.7⁰/₀ de helio, que es el gas que se ioniza. El gas circula por la cámara y por el portamuestras adicionales, permitiendo así el conteo alternado, (19) (19). Moreno y Moreno A. Archundia C. "Revista Mexicana de Fisica". Vol. 13. México, 1964. pag. 40.

CONCLUSIONES.

- 1.- El método seleccionado para el análisis de uranio es bastante exacto, a cuya cualidad se suma el hecho de ser muy sensible, capaz de detectar pequeñísimas cantidades de uranio.
- 2.- Es un método bastante rápido y no es complicado, el local para llevarlo a cabo no necesita grandes dimensiones, como tampoco un riguroso acondicionamiento.
- 3.- Las muestras procesadas, debido a la vida media del uranio 238, pueden guardarse sin temor a que en un tiempo relativamente corto, puedan resultar erróneas.
- 4.- En la evaporación de las muestras, teniendo un poco más de cuidado, el tiempo puede reducirse eliminando el baño de arena y evaporando directamente en la estufa.
- 5.- De acuerdo con el estudio realizado, se pudo comprobar que tanto las muestras procesadas de orina de los obreros, así como también del ambiente, contienen una cantidad de uranio que está por debajo de los límites permisibles.

BIBLIOGRAFIA .

- 1.- CHEMICAL EDUCATION STUDY: "CHEMISTRY AND EXPERIMENTAL SCIENCE" FREEMAN W.H. AND COMPANY. N.Y. 1961.
- 2.- VOEGTHIN CARL. HODGE HARLD C. "PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY. OF URANIUM COMPOUNDS". MCGRAW - HILL BOOK, TOMO IV NEW YORK 1953.
- 3.- FRIEDLANDER GERHART. KENNEDY JOSEPH W. - "NUCLEAR AND RADIO CHEMISTRY". ED. JOHN WILEY AND SONS. NEW YORK 1962.
- 4.- SAMUEL GLASSTONE. "LA ENERGIA ATOMICA". ED. CONTINENTAL. MEXICO 1960.
- 5.- MURPHY GLENN "INGENIERIA NUCLEAR" ED. CONTINENTAL. MEXICO . 1962.
- 6.- "OCCUPATIONAL RADIATION PROTECTION". U.S. - DEPARTAMENT. NEW YORK. 1963.
- 7.- "RADIOLOGICAL HEALTH". U.S. DEPARTMENT OF HEALTH. WASHINGTON D.C. 1960.